中華農業研究（Jour. Agric. Res. China）42(4)：419～429（1993）

透明 PVC 塑膠布山型溫室日照能透過率之研究[1]

陳 加 忠[2]

摘要：在此研究中量測山型屋頂單層 PVC 塑膠布溫室全日照量與光合成有效輻射量（PAR）之透過率物性。全日照量與 PAR 量之比值在溫室內外均相近。全日照量之透過率受溫室內部量測高度位置所影響。在上方橫梁位置約 74%，在下方作物位置約 50%。PAR 透過率量測位置之影響並不大。全日照量透過率與 PAR 透過率與量測位置之全日照量並無關係。

關鍵詞：PVC 塑膠布山型溫室、透過率、全日照、光合成有效輻射量。

太陽光能量爲溫室等設施之外在主要熱源，對植物而言，可利用的主要光源則在於可見光之光譜範圍，用以進行光合作用。太陽光之能量單位爲W/m²，可見光之範圍則以光合成有效輻射量（Photosynthetically active radiation, PAR）代表，其單位爲μmol/s－m²。

對日照能量而言，全部之日照能量可分爲：㈠直射光能量（Direct solar radiation），由太陽直射而來。㈡散射光能量（Scattering light, or Diffuse light）。陽光經大氣之吸收，雲層折射，建築物折射，地面反射一等經改變方向之輻射能量總稱。兩者之總和稱爲全日照量（Total solar radiation）。全日照量與 PAR 量傳送至溫室內部之比率稱爲透過率（Transmittance），對溫室環境模式之建立(2,4)與溫室內部植物栽培作業之合理規劃，全日照量透過率與可見光透過率爲必須具備之物性資料。

陽光的能量在到達溫室內部植物之前，必須通過覆蓋材料與溫室之內部空間。因此溫室內植物所接受之光能量隨著外界太陽能量之變化而變化之外，亦與其所處內部之位置與高度均有關係。

日照量過率的影響因素十分複雜，例如覆蓋材料之材質，使用壽命，材料表面灰塵附著性，材料之高度，與陽光之角度。因此有許多研究者建立理論模式以推衍此物性(7,15)，更建立覆蓋物有結露現象時，其透對率之預測模式(11)。上述之模式驗證工作均在於理想之實驗室狀態下，以人工光源進行，對於以陽光爲光源之實地量測，相關之研究則較少。

在溫室內部上層樑架位置與作物所接受的日照量與可見光光量均不相同。在上層位置，影響因子包括屋頂斜率，高度、溫室長寬比，在作物位置之影響因子更爲複雜。因此除了利用理論模式推衍之外，也應以實際現地之量測方式加以研究。

Ting 與 Giacomell(13)對大氣狀態下 PAR 與全日照量進行量測研究，其結果顯示 PAR值與全日照量有高直線相關性。PAR 光量則分爲兩項：直射 PAR 與散射 PAR。散射 PAR 對全

1. 臺灣省農業試驗所　研究報告第 1696 號。
2. 本所農業工程系副研究員。

PAR之比例值（P_1）則與大氣之全日照量爲二項式比例關係。太陽全日照量愈大，P_1值愈小。

在 PAR 量對溫室覆蓋材料透過率之研究中，Ting 氏[14]等比較兩型溫室與不同材料之PAR 透過率。其量測位置則有高（覆蓋材料直下方）與低（作物位置）兩處。結果顯示對山型屋頂而言（Gable－type），三種材料（單層玻璃，雙層玻璃，雙層壓克板）之 PAR 透過率在高處約爲0.58，在作物位置約0.56。對弓型屋頂（bow－type）雙層 PE 塑膠布溫室而言，高處之 PAR 穿過率約0.75，作物位置之 PAR 穿透率則爲0.48，減弱比例約爲36%。對 PAR 之透過率而言，其主要之影響因子爲大氣 PAR 量與陽光入射角度。

Giacomelli 等人[8]對雙層 PE 塑膠布溫室之全日照量與 PAR 量透過率進行研究，其結果顯示 PAR 透過率在高，低兩處其數據與該處所受到之全日照量有顯著之直線關係。在高處之全日照量透過率與 PAR 光量透過率均約爲0.67，在作物位置之全日照量透過率約0.40，PAR 透過率約爲0.45。其研究結論認爲天空晴朗程度對透過率有影響。但其數據經統計檢定結果顯示此影響性並不顯著。

Landgren 氏[12]則以實測方式比較四十種覆蓋材料的老化試驗，其中使用之 PVC 材料共有8種，其透過率與老化程度之影響未能建立一定之通則，顯示每一種材料均必須自行測試其透過率物性。Erafiadellis 氏[10]則在希臘進行九種覆蓋材料透過率週年使用之變化。其研究結果顯示此種光能透過物性並未隨季節變化而有顯著之差異性。

日本研究者[6]對溫室材料日照透過率的研究結果顯示在較低緯度，亞熱帶地區之溫室，因太陽之傾斜角不大，溫室方向、長度、屋頂傾斜角度，每日日照時刻等因子對穿透率之影響並不大。國內對 PVC 材料之日射量透過率研究中，顯示波長對透過率並無影響[1]。

國內之農業設施以 PVC 塑膠布爲主要覆蓋材料，並利用遮蔭網調整光量，有關此型式之溫室材料之透過率物性缺乏詳細研究以提供使用者參考。

此研究之目的主要在於探討：

一、探討 PVC 塑膠布溫室覆蓋材料與遮蔭網對日照量透過率之影響。

二、探討溫室內部位置（覆蓋物下方與作物位置）對透過率之影響。

三、研究每日日照時刻對透過率之影響。

材料與方法

一、實驗用塑膠布溫室

此型溫室爲山型屋頂溫室位於臺中縣霧峰鄉農業試驗所，覆蓋材料爲2㎜厚度之 PVC 單層塑膠布，屋頂上裝置規格爲50%遮蔽率之遮蔭網，與屋頂成平行狀態。內部植物爲放置地面之盆栽觀賞植物。溫室長度爲12m、寬6m、簷高度爲2.8m，屋頂最高點爲4.2m。其詳細描示如文獻(1)。主要結構係以鍍鋅鐵材，配合混擬土地基，屋頂結構係以錏管建築而成，錏管間隔約2m，塑膠在以固定夾固定於錏管上方。

二、儀器裝設位置

此研究中感測器之位置如圖1所示，每處量測點各具一只全日照量感測器（Pyranometer）與 PAR 感測器。大氣下之感測位置離地面約3.0m之高度。溫室內部上方高處之感測器位置約與屋簷平行。下方低處之感測器位置離地面90㎝高度，約與植物之最高長度相等。

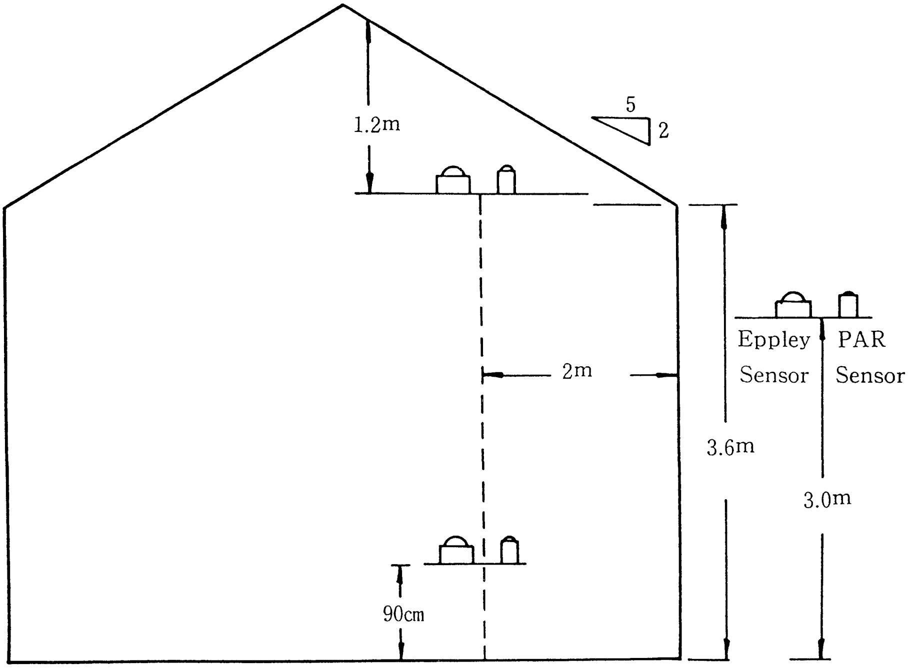

圖1. 感測器之位置
Fig. 1. Locations of sensors.

三、感測器

此試驗所用之全日照量感測器爲 Eppley Radiometer (Model 8－48)型，爲 Eppley Lab. Inc. 產品，量測波長300～3,000nm，輸出值爲0～10mv，誤差約3%，其校正利用 Eppley of Reference Standard。

PAR 量係利用 LI－COR LI－190SB Quantum sensors 量測，量測波長爲400～700nm，感測元件爲 Silicon Photodiode。輸出值爲0—10mv，校正值爲1mv＝200μmol/s㎡，誤差約±5%，校正設備爲 LI－COR 1800—02 Optical Radiation Calibrator。

量測訊號經放大後以電壓記錄器加以記錄。

四、試驗方法

此研究之覆對材料包括遮蔭網，PVC 單層塑膠布，塑膠布溫室上方加外遮蔭（遮蔭網與塑膠布間隔約50cm），在進行遮蔭網透過率試驗時，將溫室內部一組感測器取出以置於遮蔭網底下。

試驗時間自1991年7月至1993年2月。進行量測時每30秒取樣一次，每次記錄數值爲每五分鐘之平均值，記錄時間爲每日8：00至17：30分。

爲便於區分全日照量，PAR 光量感測器之透過率與不同高度之影響，有關透過率之定義如下：

lg＝I(橫樑)/I(大氣) ……………………………………(1)

lg＝I(作物)/I(橫樑) ……………………………………(2)

lg＝I(作物)/I(大氣) ……………………………………(3)

I(大氣)：大氣下的全日照量。

I(橫樑)：溫室上部橫梁（glazing）位置的全日照量。

I(大氣)：溫室底部作物位置的全日照量。

Pg=PAR(橫樑)/PAR(大氣) ……………………………………………………(4)

Pr=PAR(作物)/PAR(橫樑) ……………………………………………………(5)

Pc=PAR(作物)/PAR(大氣) ……………………………………………………(6)

PAR(大氣)：大氣下的 PAR 值。

PAR(橫樑)：溫室上部橫梁位置之 PAR 值。

PAR(大氣)：溫室底部作物位置之 PAR 值。

結果與討論

一、大氣狀態下全日照量與 PAR 量

一日內全日照量之典型分佈圖如圖2。由於本省海島氣候之特性，每日之日照量並非規律性的變化，因此無法如同大陸型氣候，每日之日照量可以以理論模式或迴歸公式加以預測計算[4]。利用感測器進行現地實測方有實用之價值。

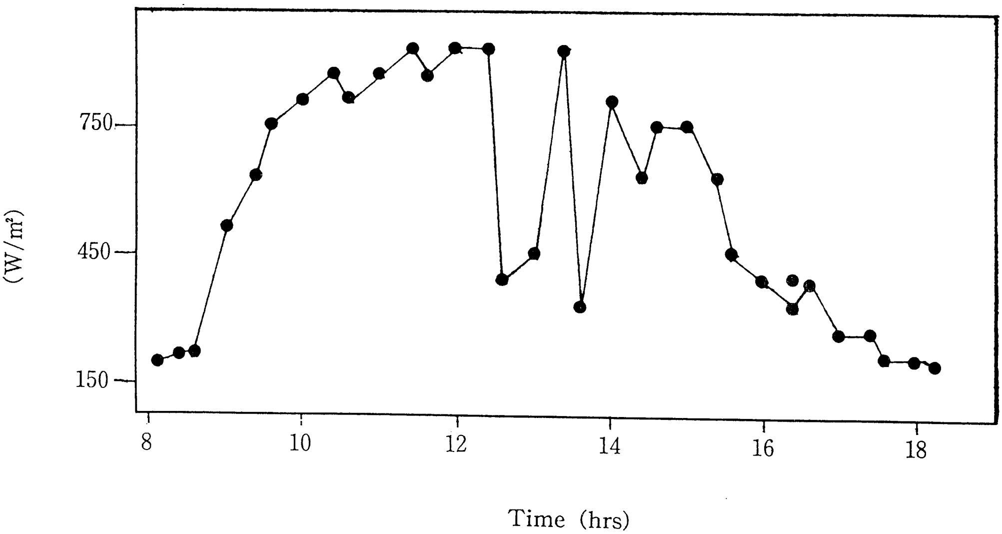

圖2. 夏日大氣日照量之分佈

Fig. 2. The distribution of the total solar radiation in Summer's day.

大氣狀態下全日照量與 PAR 值之兩日內量測數據典型之關係如圖3所示。其迴歸方程式爲 Y=2.225・X，R^2=0.981，Y 爲 PAR 值，X 爲全日照量，此結果與 Ting 氏等[13]之結果相似。PAR/全日照之比例值對全日照量之分佈圖如圖4，並未有顯著之分佈曲線。其比例值爲2.217。在 Ting 氏等人之研究結果顯示其數之關係式爲 Y1=2.07X_2，與此研究結果有所不同，其原因可以以實驗所在緯度加以說明。此研究之地點爲靠近北迴歸線之臺中霧峰地區，而 Ting 氏等人則在北緯40.5°美國紐澤西州執行試驗[8]。緯度影響全日照量之數值，緯度愈高，直射入射量之比例也爲之改變[5]。

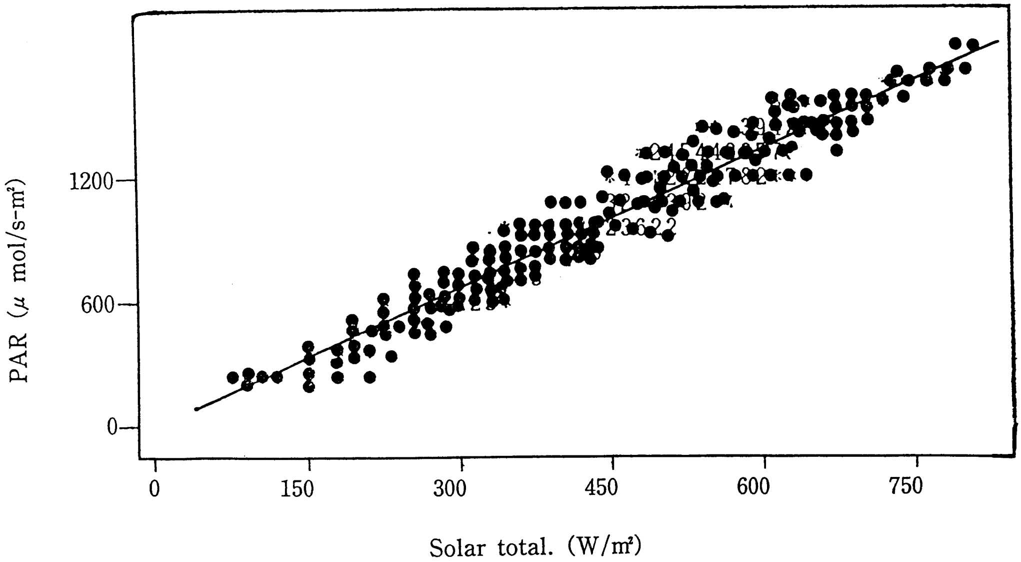

圖3.　大氣下全日照量與　PAR 之關係

Fig. 3. Relationship of solar PAR and total radiation at atmosphere.

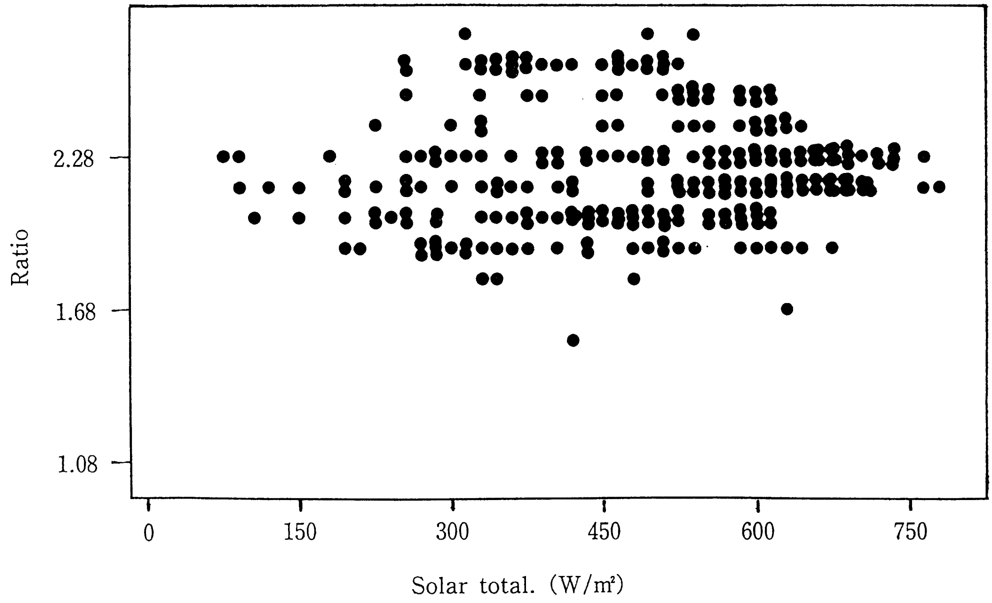

圖4.　大氣下　PAR／全日照比值與全日照量之關係

Fig. 4. Relationship of the ratio between PAR and total solar radition and the total solar radiation at atmosphere.

二、日照時刻與透過率

典型之每日不同時刻其日照量透過率之變化如圖5所示。在正午時刻，透過率似乎略高於早晨與傍晚之透過率，但在統計檢定下並無顯著差別。與 PAR 透過率比較，全日照量之透過率則分散程

度較大，顯示全日照量之變化較大。

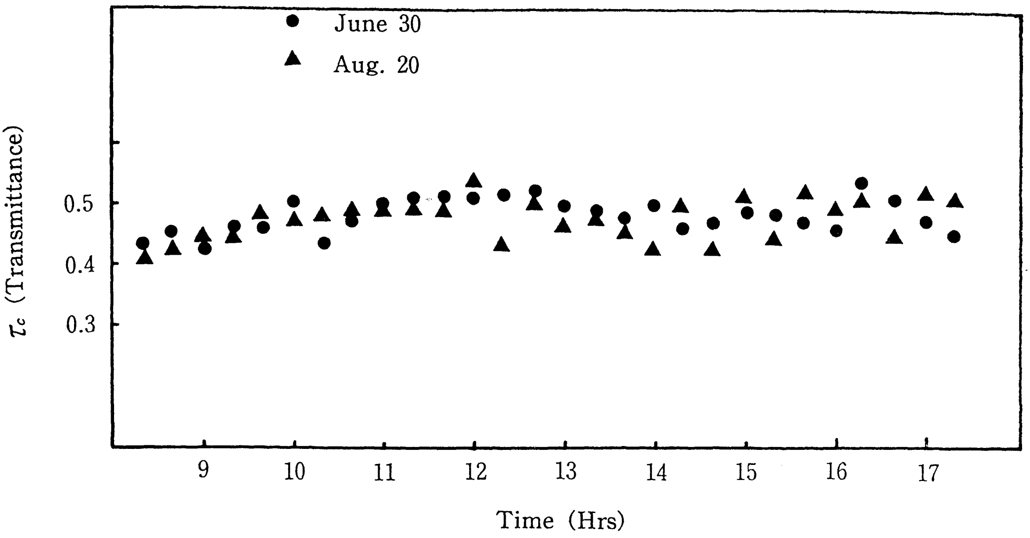

圖5. 在溫室內作物位置典型之一日全日照量透過率

Fig. 5. Typical average total solar transmittance at canopy level.

三、感測器於溫室上方

感測器放置於溫室上方位置時，全日照量透過率（lg）與大氣日照量的關係如圖6，圖中數字顯示數據於同一座標出現之次數。lg 值與外界大氣日照量並無顯著關係存在。圖7顯示溫室內部 PAR 透過率（Pg）對溫室內部日照量之關係，Pg 幾乎為定值，與日照量並無關係。

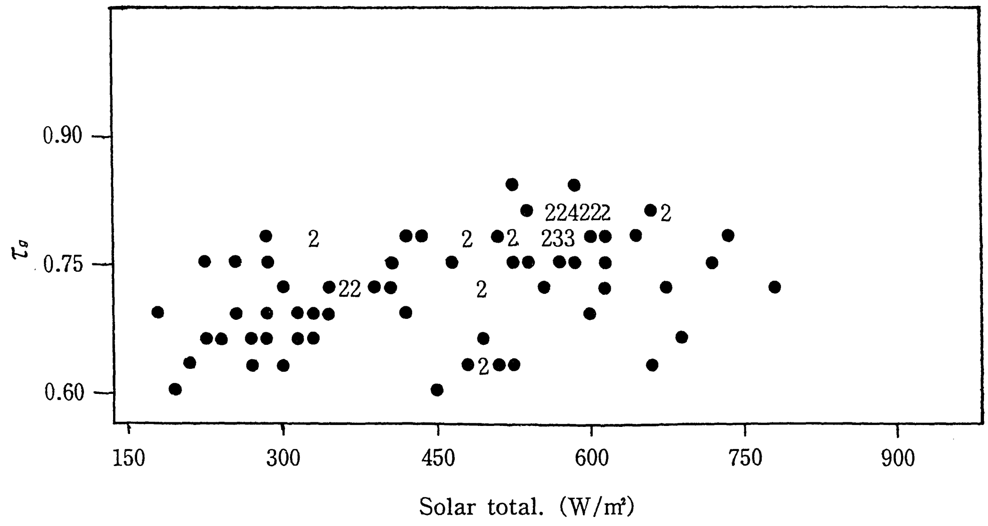

圖6. 溫室上方位置全日照透過率（lg）與全日照量之關係

Fig. 6. Relationship between lg and solar total radiation at glazing leverl.

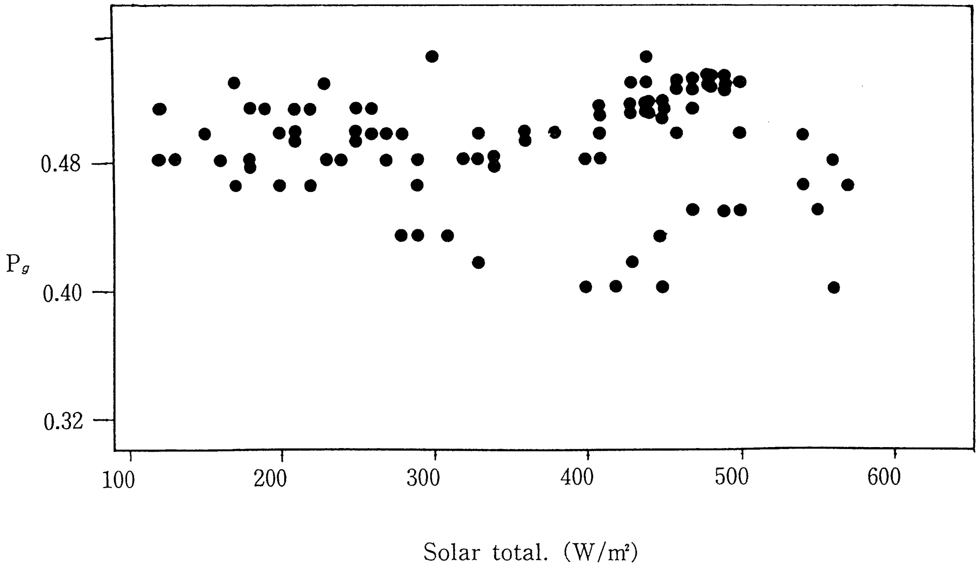

圖7. 溫室上方位置 PAR 透過率（P_g）與全日照量之關係

Fig. 7. Relationship between Pg and solar total radiation at glazing level.

在此量測位置之溫室內部全日照量（X_2）與 PAR 量（Y_2）有顯著之直線關係，$Y_2=2.21 \cdot X_2$，與大氣狀態下極爲接近。

四、感測器於溫室底部

位於作植物株附近之全日照量(X_3)，PAR 量（Y_3）之典型分布圖如圖8。X_3與 Y_3有顯著之直線關係，$Y_3=2.185 \cdot X_3$。由此可知，在同一位署（緯度）下，全日照量與 PAR 量在溫室上，下方與

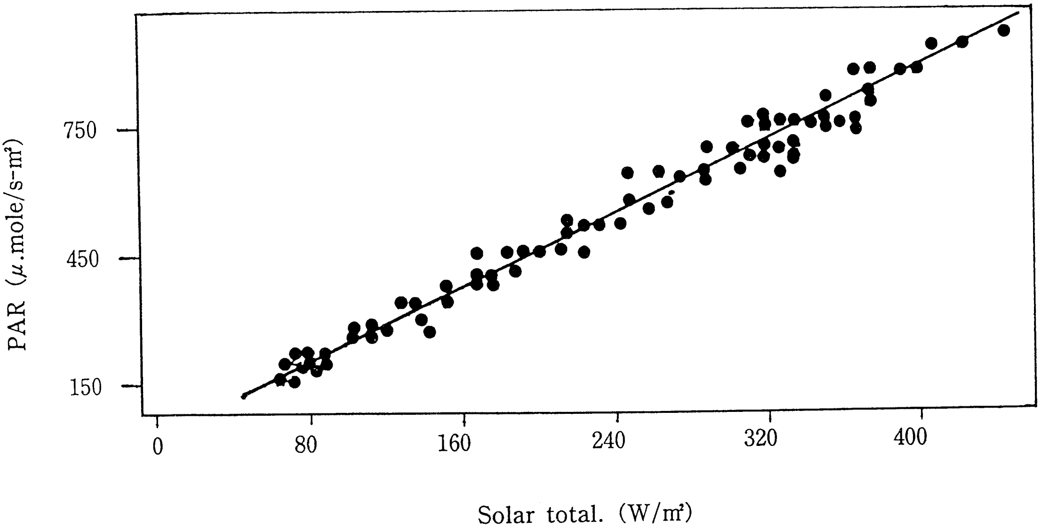

圖8. 溫室作物位置 PAR 與全日照量之關係

Fig. 8. Relationship between PAR and solar total radiation at canopy level.

外界大氣狀態下，存有相近之關係。農試所農工系所研發之 TARI－INS 型日照量感測器係利用 PAR 量對全日照量之關係開發而成[3]，此研究結果顯示此型日照計除可適用大氣狀態，亦可利用於溫室內。

此位置之全日照量透過率（lc）與大氣全日照量之分佈關係如圖9，lc 趨向爲定値。PAR透過率（Pc）與內部全日照量之分佈關係如圖10，Pc値亦與全日照量無顯著關係。

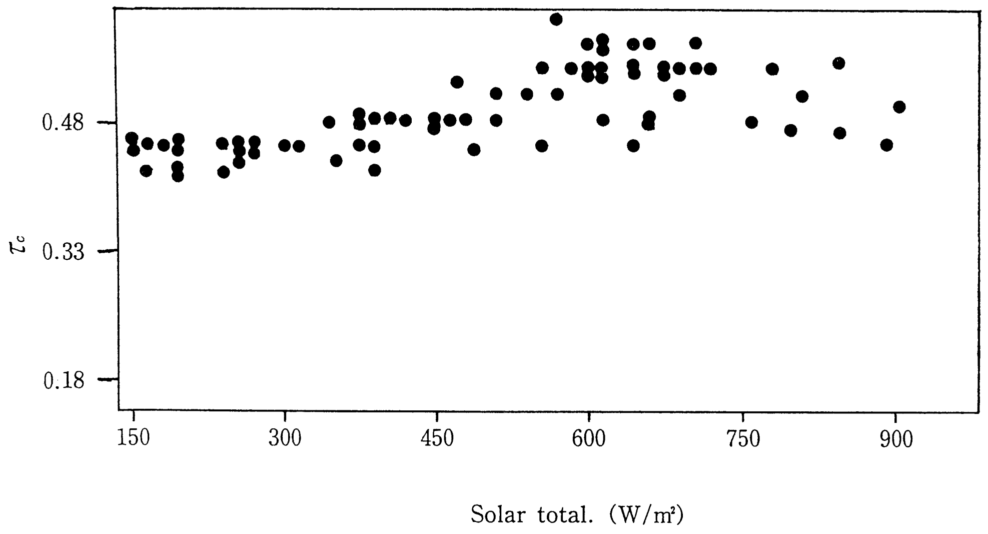

圖9. 溫室作物位置全日照透過率（lc）與全日照量之關係
Fig. 9. Relationship between lc and solar total radiation at canopy level.

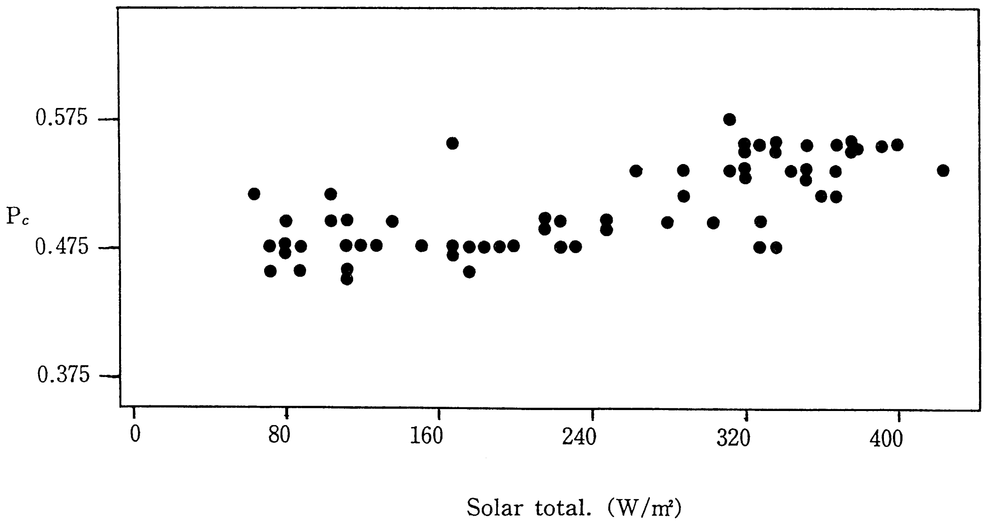

圖10. 溫室作物位置 PAR 透過率（Pc）與全日照量之關係
Fig. 10. Relationship between Pc and solar total radiation at canopy level.

在 Giacomelli 等人[8]研究結果顯示在雙層PE塑膠布溫室下，PAR 透過率(Pg 或 Pc)與溫室內部日照量，無論在溫室上下方皆有顯著之直線關係。但在此研究中，量測之材料爲 PVC 塑膠布，PAR 透過率趨向爲定值。兩種研究之差異原因係由於材料不同。PVC 材料之透過率之主要作用波長爲380-760nm 光波，PE 材料之透過率之主要作用波長更廣，接近全部波長，因此造成兩者之差異[5]。

五、透過率之比較

表一顯示在溫室底部作物位置全日照量與 PAR 之透過率平均值。對塑膠布溫室而言，其全日照量與 PAR 光量在地面位置之透過率約近50%，在有外遮蔭網之情況下，lc 與 Pc 約爲22%左右。對純在遮蔭網之位置之下，全日照量與 PAR 透過率亦相近，約爲35%左右。因外遮蔭網僅在溫室上方，並未完全包覆溫室整體，自側面入射溫室之太陽光並未受到遮蔭影響，因此 lc 值爲22%，而非爲(50%×35%)之17.5%比例值。在三種覆蓋材料下，PAR 數值對全日照量數值之比值趨近2.3倍。

表1. 溫室內下方作物位置之透過率

Table 1. Transmittance for plastic greenhouse at the canopy level

	Plastic greenhouse		Plastic greenhouse with shading nets		Shading nets	
	Ave.	Std. Dev.	Ave.	Std. Dev.	Ave.	Std. Dev.
Solar total. (lc)	0.495	0.024	0.221	0.031	0.341	0.025
PAR (Pc)	0.482	0.016	0.213	0.023	0.362	0.014
$\frac{\text{PAR}}{\text{Solar total.}}$	2.281		2.240		2.291	

表二表示在溫室上方橫梁位置之lg 與 Pg 值。全日照量之透過率與 PAR 透過率則有顯著差別。全日照量之lg 值約爲 PAR 之 Pg 值1.5倍。在有外遮蔭之情況下，兩種日射量測值之lg 與 Pg 值亦爲顯著相異。

表2. 溫室內上方橫梁位置之透過率

Table 2. Transmittance for plastic greenhouse at the galazing level

	Plastic greenhouse		Plastic greenhouse with shading nets	
	Ave.	Std. Dev.	Ave.	Std. Dev.
Solar total. (lc)	0.737	0.039	0.327	0.031
PAR (Pc)	0.512	0.030	0.221	0.021

表三列出在溫室上下位置兩種日射量測值之差異性。對全日照量而言，作物位置所受到之全日照強度約只有上部橫梁位置全日照量之70%。對 PAR 光量而言，上下兩處之差異性約有5%。溫室在有外遮蔭之狀況下，全日照量在上下位置之差異約有35%之減少量，而 PAR 在上下位置之差異則約6.5%。此可知，在溫室內部所量測之全日照量因其量測高度而有所不同，PAR 值受量測高度之影響性則較不顯著。

表3. 溫室內上下位置日照量之比值

Table 3. Ratio of sloar energy between glazing and canopy level.

		Plastic greenhouse		Plastic greenhouse with shading nets	
		Ave.	Std. Dev.	Ave.	Std. Dev.
Solar total.	$\frac{\text{(Canopy)}}{\text{glazing}}$	0.691	0.097	0.641	0.067
PAR	$\frac{\text{(Canopy)}}{\text{glazing}}$	0.955	0.087	0.935	0.058

註：數值之計算係以所有量測數據加以計算。

Ting 等人[13]，量測四種覆蓋材料在溫室上下位置 PAR 值之相異性，其結果顯示單層玻璃，雙層玻璃與雙層壓克力板之 PAR 量底面位置之 PAR 值約爲上層位置之93.3%、96.5%與94.8%，但對雙層 PE 塑膠布而言，則有64%之減少量。Giacomelli 等人[8]，對雙層 PE 塑膠在溫室之研究中，全日照量上下層之減少比例約60%，PAR 值上下層減少比率約67%。此研究結果顯示國產 PVC 塑膠布溫室其內部上下層之全日照量減少比例約30%，但 PAR 減少量約5%，此與玻璃與壓克力板物性相近。由此可知不同之覆蓋材料各有其獨特之日照量透過物性，必須自行測定其物性。

結　論

由上述研究結果可知在 PVC 塑膠布溫室內部上方橫樑，下方作物位置與大氣狀態下進行日照量量測，全日照量與 PAR 值之比例值幾乎相同。全日照量與 PAR 之透過率受大氣之全日照量大小之影響並不明顯而趨近爲定值。對 PVC 塑膠在溫室而言，全日照量之透過率受其溫室內部量測位置所影響，在溫室上方橫梁約爲74%，下方作物位置則僅有50%，減少比例約爲50%。PAR 量在溫室上方之透過率約爲52%，作物位置約48%，減少比例約7.5%。與已知文獻其他覆蓋物材料物性之比較，可知不同覆蓋材料有其獨特之透過率物性，每一種覆蓋材料有自行測定之必要。

引用文獻

1. 王鼎盛。1993。省製被覆材料之光透過率測析。臺灣花卉園藝72期：52—57。
2. 陳加忠、陳志昇、黃照明。1992。溫室環境模式之研究（II）模式驗證與應用。中華農業研究 41(1)：90—114。
3. 陳加忠。1992。農用日照計之性能試驗與評估。中華農業研究 41(2)：216—224。
4. 陳加忠、陳志昇。1992。遮蔭裝置對溫室微氣候影響之研究。中華農業研究 41(3)：382—404。
5. 三原義秋。1980。溫室設計の基礎與實際。養賢堂。
6. 日本施設園藝協會。1983。施設園藝ハンドブシク。日本施設園藝協會。
7. Baille, A., M. Baille and M. Tchamitchian. 1990. A simple model for the estimation of greenhouse transmission. ACTA Horticulturae 281:35−46.
8. Giacomelli, G. A, K.C. Ting and S. Panigrahi. 1988. Solar PAR vs. solar total radiation transmission in a greenhouse. Trans. of the ASAE 31:1840−1543.
9. Godbey, L. C, T.E. Bond and H. F. Zorning. 1979. Transmission of solar and long−wavelength energy by materials used as covers for solar collectors and greenhouses. Trans of the ASAE 22:1137−1144.
10. Grafiadellis, M. 1985. A study of greenhouse covering plastic sheets. Acta Horticulturae 170:133−142.
11. Jaffrin, A and S. Makhlouf. 1990. Mechanism of light transmission through wet polymer films. Acta Horticulturae 281:11−24.
12. Landgren, B. 1985. Aging tests with covering materials for greenhouses. Acta Horrticulturae 170:119−126.
13. Ting, K. C. and G. A. Giacomelli, 1987a, Availability of solar photosynthetically active radiation. Trans. of the ASAE 30:1453−1457.
14. Ting, K. C. and G. A. Giacomelli, 1987b. Solar Photosynthetically active radiation transmission through greenhouse glazings. Energy in Agriculture 6:121−132.
15. Vanden Kieboom, A. M. G. and J. A. Stoffers. 1985. Light measurement and calculations. ACTA Horticultrae 170:97−102.

Study of Solar Radiation Transmission in Transparent PVC Plasstic Gable-type Greenhouse[1]

Chia-Chung Chen[2]

Summary

The transmittance of solar total radiation and the transmittance of photosynthetically active radiation (PAR) in a gable—type, single PVC covered greenhouse were studied. The ratio of solar total radiation to PAR was simlar for the locations within the greenhouse and in atmsphere. The solar total radiation was affected by the measuring levels of greenhouse. For the total solar radiation, the transmittance at the glazing level was nearly 74%, however, this values at the canopy level was nearly 50%. The transmittance of PAR almost kept the same at the different levels of greenhouse. Both of transmittance at the glazing and at the canopy levels did not have the direct relationship with the total solar radiation of the measuring levels.

Key words: PVC plastic greenhouse, Transmittance, Total solar radition, PAR, Gable—type.

1. Contribution No. 1696 from Taiwan Agricultural Research Institute.
2. Associate researcher, Department of Agricultural Engineering, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.